

UNIVERSITÉ DE NANTES
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

**ÉTUDE DES PROCESSUS D'ÉMISSION DES PIONS
DANS LES COLLISIONS PB+PB À 17.3 AGEV, ET
SON PROLONGEMENT AUX COLLISIONS AU+AU À
200 AGEV, À TRAVERS LA CARACTÉRISATION
DES DÉTECTEURS AU SILICIUM À MICROPISTES
DE L'EXPÉRIENCE STAR**

THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Physique nucléaire

*Présentée
et soutenue publiquement par*

Fabrice RETIÈRE

le 6 octobre 2000, devant le jury ci dessous

Président Klaus WERNER, *Professeur, SUBATECH, Nantes*

Rapporteurs Terry AWES, *chercheur, Oak Ridge National Laboratory (États Unis)*

Daniel HUSSON, *Maître de conférences, LEPSI, Strasbourg*

Examineur Barbara ERAZMUS, *Directeur de recherche, SUBATECH, Nantes*

Directeur de thèse : Barbara ERAZMUS

Remerciements

La fin de mon travail de thèse aura été une course contre la montre qui se termine avec ces remerciements alors que j'ai déjà quitté Subatech. Je voudrais remercier les membres de mon jury, Terry Awes, Daniel Husson, Barbara Erazmus et Klaus Werner ; ma thèse est parvenue à maturation grâce à leur excellent travail, aux questions qu'ils ont été amené à poser et aux réponses que j'ai dues leur fournir. Malgré le stress, j'ai apprécié les dernières semaines de ma thèse qui m'ont permis de clarifier mes idées grâce aux nombreuses questions de Terry Awes et de Daniel Husson, et, aux discussions fructueuses avec Barbara Erazmus.

Je remercie aussi Barbara de m'avoir intégré dans son groupe où j'ai pu travailler à la fois sur le développement des détecteurs et sur l'analyse des données du SPS. Merci à tous les membres du groupe hadron qui ont bien voulu me supporter alors que je n'ai jamais vraiment réussi à accepter mon statut de thésard. Je remercie vivement toutes les personnes qui m'ont aidé dans mon travail : Abdel Boucham, Javier Castillo, Laurent Conin, Walter Pinganaud et Christelle Roy. J'ai beaucoup profité des discussions avec Laurent Conin au sujet de l'analyse des données du SPS, et je l'en remercie particulièrement. Une partie importante de ma thèse est issue de ces échanges.

J'ai aussi bénéficié des travaux théoriques réalisés au sein du laboratoire. Je remercie les NEXUSiens, Hajo Drescher, Tanguy Pierog, et Klaus Werner pour m'avoir aidé à utiliser leur modèle et pour avoir supporté mes nombreuses interrogations sur la pertinence de leur approche ("sans rescattering, ça ne peut pas marcher!"). Je remercie Fabrice Gastineau et Jorg Aichelin qui m'ont laissé détourner leur code de calcul de l'interaction coulombienne pour une étude différente de ce pourquoi il était initialement conçu. Mention spéciale à Fabrice Gastineau qui a investi beaucoup de son temps dans cette analyse et a su supporter mes mauvaises humeurs lorsque les calculs semblaient erronés.

Je n'oublie pas tous mes collègues thésards avec qui j'ai passé trois années agréables et enrichissantes. Je remercie en particulier tous les participants des "QGP for Dummies" grâce auxquels j'ai l'impression d'avoir amélioré de manière importante ma connaissance de la physique des ions lourds. Je remercie en particulier Regina Nebauer pour ces présentations claires et détaillées. Merci aussi à tous les autres, Francois Arleo, champion de l'argumentation survoltée, à Cyrille "hum" Girard, à Maria Jesus Mora et à tous ceux que j'oublie.

Je remercie Hans Gutbrod pour m'avoir accueilli au sein de Subatech. Je voudrais aussi vivement le remercier de m'avoir permis d'effectuer mon "service militaire" à Berkeley avant ma thèse. Non seulement j'ai échappé à dix tristes mois mais ces seize mois comme coopérant ont affecté profondément mon approche de la recherche ce qui s'est ressenti fortement sur mon travail de thèse. Finalement, je remercie de nouveau tous ceux qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs : mon diplôme de doctorat et un "postdoc" au sein de l'expérience STAR.

Table des matières

1. Les collisions d'ions lourds ultra-relativistes.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Une collision d'ions lourds ultra-relativistes.....	1
1.2.1 Phase initiale.....	1
1.2.2 Système de partons.....	3
1.2.3 Système de hadrons.....	4
1.3 Signatures d'une éventuelle phase partonique.....	4
1.3.1 Interaction de particules avec le plasma.....	5
1.3.2 Radiation du plasma.....	6
1.3.3 Chimie partonique ou chimie hadronique?.....	7
1.4 Conclusions	8
2 Les pions dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes.....	11
2.1 Généralités.....	11
2.2 Les processus d'émission des pions dans les modèles NEXUS et RQMD.....	13
2.2.1 Les modèles.....	13
2.2.1.1 NEXUS.....	13
2.2.1.2 RQMD.....	14
2.2.2 Les sources de pions.....	15
2.3 Outils d'analyse.....	15
2.3.1 Les fonctions de corrélation.....	17
2.3.1.1 Principe.....	17
2.3.1.2 Calculs des fonctions de corrélation.....	18
2.3.2 Effets de l'interaction coulombienne sur les rapports des distributions en impulsion π^- sur π^+	20
2.3.2.1 Principe.....	20
2.3.2.2 Calcul quantique.....	22
2.3.2.3 Calcul classique.....	22
2.3.2.4 Comparaison entre méthodes.....	23
3 L'expérience WA98 au SPS.....	25
3.1 Introduction.....	25
3.2 L'expérience WA98.....	26
3.2.1 Caractérisation des événements.....	26
3.2.1.1 Calorimétrie globale.....	26
3.2.1.2 Multiplicité et DCC.....	27
3.2.1.3 Mesure du flot anisotrope.....	28
3.2.2 Spectrométrie des photons.....	28
3.3 Spectromètre de particules chargées : les bras de trajectographie.....	30

3.3.1 Bras 1.....	31
3.3.1.1 MSAC, Chambres à avalanche multi-étage.....	31
3.3.1.2 Détecteur de temps de vol.....	32
3.3.2 Bras 2.....	32
3.3.2.1 Chambre à avalanche à pads.....	32
3.3.2.2 Tube à décharge.....	32
3.3.2.3 Détecteur de temps de vol.....	33
4 Analyse des données.....	35
4.1 Sélection des données.....	35
4.1.1 Sélection des événements.....	35
4.1.1.1 Réjection des interactions multiples ou hors cible.....	35
4.1.1.2 Étincelles dans le second bras.....	37
4.1.1.3 Centralité.....	37
4.1.1.4 Bilan de la sélection des événements.....	38
4.1.2 Reconstruction et identification des traces.....	39
4.1.2.1 Identification.....	39
4.1.2.2 Reconstruction des trajectoires.....	41
4.2 Évaluation de la qualité des mesures.....	44
4.2.1 Simulation de la réponse des détecteurs.....	44
4.2.2 Résolution en impulsion.....	47
4.2.3 Pureté des pions.....	48
4.3 Fonctions de corrélation.....	49
4.3.1 Les fonctions de corrélation dans WA98.....	49
4.3.2 La fonction de corrélation $\pi^+-\pi^-$	49
4.3.3 Influence du système de détection sur les fonctions de corrélation.....	50
4.4 Rapport des distributions en masse transverse π^- sur π^+	52
4.4.1 Mesures.....	52
4.4.2 Effet de la méthode de détection.....	53
4.5 Conclusions.....	59
5 Étude des processus d'émission des pions.....	61
5.1 Pions et interaction coulombienne dans les modèles NEXUS et RQMD.....	61
5.1.1 Les sources de pions.....	61
5.1.2 L'interaction coulombienne dans les modèles.....	63
5.2 Comparaisons entre prédictions des modèles et résultats expérimentaux.....	67
5.2.1 Principe de l'étude.....	67
5.2.2 La fonction de corrélation $\pi^--\pi^+$	67
5.2.3 Rapport des distributions en masse transverse π^- sur π^+	68
5.3 Conclusions.....	70

6 Du SPS au RHIC, de WA98 à STAR.....	73
6.1 Du SPS au RHIC, un saut en énergie.....	73
6.2 De WA98 à STAR, un changement de philosophie.....	74
6.2.1 L'expérience STAR.....	74
6.2.2 De WA98 à STAR	76
6.3 Continuité de la physique étudiée.....	77
7 Le détecteur au silicium à micropistes de STAR.....	79
7.1 Une quatrième couche pour le détecteur de vertex.....	79
7.2 Design du SSD.....	82
7.3 Le module de détection.....	82
7.3.1 Détecteur au silicium à micropistes double face.....	83
7.3.2 L'électronique de lecture.....	84
7.4 Système de lecture.....	84
8 Les détecteurs au silicium à micropistes.....	87
8.1 Principe.....	87
8.1.1 Notions de base sur les semi-conducteurs.....	87
8.1.1.1 Les semi-conducteurs.....	87
8.1.1.2 Le dopage.....	88
8.1.1.3 La jonction pn.....	88
8.1.2 Principe de fonctionnement des détecteurs semi-conducteurs.....	88
8.1.3 Les détecteurs au silicium à micropistes.....	90
8.2 L'ionisation.....	92
8.2.1 Distribution du dépôt d'énergie.....	92
8.2.2 Distribution spatiale de l'ionisation.....	94
8.3 Collection des charges sur les pistes.....	95
8.3.1 Champ de dérive.....	95
8.3.2 Mobilité et temps de collection.....	96
8.3.3 Diffusion des porteurs.....	96
8.4 Couplage capacitif.....	98
8.4.1 Induction de courant pendant la dérive.....	98
8.4.1.1 Théorème de Ramo.....	98
8.4.1.2 Application aux détecteurs au silicium à micropistes.....	99
8.4.2 Couplage capacitif entre pistes.....	100
8.5 Lecture du signal.....	101
9 Caractérisation des modules de détection du SSD.....	103
9.1 Dispositif expérimental.....	103
9.1.1 Faisceau.....	103
9.1.2 Banc de test.....	103

9.1.3 Détecteurs testés.....	104
9.1.4 Acquisition des données.....	104
9.1.5 Principe de l'analyse hors ligne.....	104
9.2 Amplitude du signal.....	105
9.2.1 Calcul des piédestaux et du bruit.....	105
9.2.2 Extraction du signal.....	106
9.2.3 Distribution de la perte d'énergie.....	106
9.2.4 Corrélation du signal mesuré sur les côtés n et p.....	108
9.3 Partage du signal entre les pistes.....	109
9.3.1 Objectifs.....	109
9.3.2 Modélisation du partage de charge.....	110
9.3.2.1 Outils d'étude du partage de charge.....	110
9.3.2.2 Modélisation des détecteurs au silicium à micropistes du SSD.....	111
9.3.3 Étude en incidence normale.....	112
9.3.3.1 Extraction des paramètres du modèle.....	112
9.3.3.2 Influence de la tension de polarisation.....	115
9.4 Résolution en position.....	117
9.4.1 Méthode du barycentre.....	117
9.4.2 Algorithme η	119
9.4.3 Résolution en fonction de l'angle d'incidence.....	121
9.5 Simulation des détecteurs du SSD.....	122
9.5.1 Principales techniques de simulation.....	123
9.5.1.1 Modélisation de l'ionisation.....	123
9.5.1.2 Modélisation du partage de charge.....	123
9.5.2 Résultats.....	125
10 Conclusions.....	127